Pêches et Océans Canada | Fisheries and Oceans Canada
Sciences | Science

SCCS | **CSAS**

Secrétariat canadien de consultation scientifique | **Canadian Science Advisory Secretariat**

Document de recherche 2002/065 | Research Document 2002/065

Ne pas citer sans Autorisation des auteurs * | Not to be cited without permission of the authors *

Mesure de l'abondance du plancton recueilli lors des relevés d'évaluation de la biomasse reproductrice du maquereau (*Scomber scombrus* L.) réalisés entre 1982 et 2000

Evaluation of the abundance of plankton gathered in spawning biomass assessment surveys of Atlantic mackerel (*Scomber scombrus* L.) from 1982 to 2000

François Grégoire et / and Deborah MacKenzie[1]

Direction des poissons et des mammifères marins / Marine Fish Mammals Branch
Ministère des Pêches et des Océans / Department of Fisheries and Oceans
Institut Maurice-Lamontagne / Maurice Lamontagne Institute
850 Route de la Mer
Mont-Joli, Québec
G5H 3Z4

[1] 57 Leary's Cove Road, East Dover, Nova Scotia, B3Z 3W7

* La présente série documente les bases scientifiques des évaluations des ressources halieutiques du Canada. Elle traite des problèmes courants selon les échéanciers dictés. Les documents qu'elle contient ne doivent pas être considérés comme des énoncés définitifs sur les sujets traités, mais plutôt comme des rapports d'étape sur les études en cours.

* This series documents the scientific basis for the evaluation of fisheries resources in Canada. As such, it addresses the issues of the day in the time frames required and the documents it contains are not intended as definitive statements on the subjects addressed but rather as progress reports on ongoing investigations.

Les documents de recherche sont publiés dans la langue officielle utilisée dans le manuscrit envoyé au Secrétariat.

Research documents are produced in the official language in which they are provided to the Secretariat.

Ce document est disponible sur l'Internet à: | This document is available on the Internet at:
http://www.dfo-mpo.gc.ca/csas/

ISSN 1480-4883
© Sa majesté la Reine, Chef du Canada, 2002
© Her Majesty the Queen in Right of Canada, 2002
Canada

Résumé

Un indice est proposé pour mesurer l'abondance générale du plancton échantillonné lors des relevés d'évaluation de la biomasse reproductrice du maquereau dans le sud du golfe du Saint-Laurent. Les valeurs annuelles les plus élevées de cet indice correspondent aux classes d'âge dominantes chez le maquereau. La baisse graduelle de l'indice qui est observée dans les années 1990 est associée à une période pendant laquelle les eaux du golfe du Saint-Laurent étaient plus froides.

Abstract

This document proposes an index for measuring the general abundance of the plankton sampled in surveys conducted to estimate the biomass of the spawning stock of mackerel in the southern Gulf of St. Lawrence. The highest annual values for this index correspond to the dominant year-classes of the mackerel. The gradual decline observed in this index in the 1990s is associated to a period when the waters of the Gulf of St. Lawrence were colder.

INTRODUCTION

Le relevé d'évaluation de l'abondance du maquereau (*Scomber scombrus* L.) dans le sud du golfe du Saint-Laurent est réalisé maintenant depuis près de 20 ans. Les résultats du tri des échantillons de plancton qui sont recueillis lors de ce relevé constituent une banque impressionnante d'informations. Jusqu'à ce jour, les données relatives au maquereau sont celles qui ont été le plus utilisées, que ce soit pour en évaluer l'abondance (Grégoire 2000; Grégoire *et al.* 2001) ou étudier les fluctuations du recrutement (Castonguay *et al.* 1998; Runge *et al.* 1999; Ringuette *et al.* 2002).

Au cours des années 1990, une réduction graduelle a été observée dans les quantités de plancton récoltées à bord des navires de recherche. Différentes hypothèses ont été émises pour tenter d'expliquer cette réduction dont celle d'un déphasage progressif entre les cycles de production du plancton et la période pendant laquelle les relevés sont réalisés. Le sujet des rayons ultraviolets a aussi été examiné. Récemment, leurs effets sur l'environnement marin a fait l'objet d'une importante revue (De Mora *et al.* 2000). Parallèlement à cette baisse de l'abondance du plancton, un moins grand nombre d'oeufs de maquereau ont été échantillonnés, spécialement lors de la seconde moitié des années 1990.

À la suggestion de l'un des deux auteurs (D. MacKenzie), la présente étude a été réalisée dans le but de calculer et de présenter les quantités de plancton récoltées lors des relevés d'évaluation de l'abondance du maquereau. Un indice d'abondance annuel du plancton est aussi proposé et comparé entre les différents relevés.

INTRODUCTION

The abundance survey of mackerel (*Scomber scombrus* L.) in the southern Gulf of St. Lawrence has now been conducted for close to 20 years. The results of the sorting of the plankton samples gathered in this survey constitute an impressive information base. Thus far, the data on the mackerel themselves have seen the most use, both for assessing the fishes' abundance (Grégoire 2000; Grégoire *et al.* 2001) and for examining fluctuations in their recruitment (Castonguay *et al.* 1998; Runge *et al.* 1999; Ringuette *et al.* 2002).

Over the 1990s, a gradual decline has occurred in the amounts of plankton gathered during the research vessels. Various hypotheses have been presented to try to explain this trend. One is that the plankton production cycles and the period when the surveys are conducted have gradually got out of phase. The question of ultraviolet radiation has also been examined. Recently, a major review of their effects on the marine environment has been published (De Mora *et al.* 2000). In parallel with this decline in the abundance of plankton, the number of mackerel eggs sampled has also declined, especially during the second half of the 1990s.

At the suggestion of one of the two authors (D. MacKenzie), the present study has been realised in order to calculate and present the amounts of plankton collected in the mackerel abundance surveys. An annual abundance index of plankton is also proposed and compared among the various surveys.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Échantillonnage en mer

La zone couverte par le relevé d'évaluation d'abondance comporte un total de 65 stations distribuées régulièrement le long de transects parallèles (Figure 1). Lorsque les conditions en mer et/ou le temps de disponibilité des navires le permettent, chaque station est échantillonnée à deux reprises de sorte que deux trajets sont réalisés par relevé. Les deux filets utilisés sont de type Bongo (Posgay et Marak 1980) avec une ouverture de 61 cm et des mailles de 333 microns. Les volumes d'eau filtrés (m^3) sont mesurés à l'aide d'un débitmètre fixé à l'entrée de chaque filet. Les traits sont d'une durée minimale de 10 minutes et effectués en suivant un profil en dents de scie (Hempel 1973), entre la surface et une profondeur maximale de 50 m ou jusqu'à 5 m du fond pour les stations moins profondes. Une sonde STD (Sea-Bird Electronic Inc.) est fixée sur le câble d'attache, près de l'ouverture des filets, pour recueillir les températures de l'eau. Ces dernières permettent de calculer le temps d'incubation ou l'âge des œufs de maquereau. Une fois un trait complété, les filets sont ramenés à bord, suspendus et lavés à l'eau salée. Les échantillons de plancton sont préservés dans une solution diluée (4-5 %) de formaldéhyde tamponnée (Hunter 1985).

Traitement des échantillons de plancton

Au laboratoire, le volume sédimenté (ml) de plancton est mesuré puis fractionné selon la méthode des béchers de Van Guelpen (Van Guelpen *et al.* 1982). Le nombre total de fractions à trier est basé sur un nombre minimal (100) d'oeufs de maquereau à extraire. L'identification du plancton est réalisée à partir de critères précis tirés

MATERIAL AND METHODS

At-sea sampling

The area covered by the abundance survey comprises a total of 65 stations distributed regularly along parallel transect lines (Figure 1). When conditions at sea and/or vessel availability time allow, each station is sampled twice, so that the survey vessel makes two complete sets or passes of sampling tows. The nets used are two Bongo samplers (Posgay and Marak 1980), each with a diameter of 61 cm and a 333-micron mesh. A flow meter is fitted at the opening of each net to measure the volume of water filtered, in cubic metres. The tows last at least 10 minutes and are made in a saw-tooth pattern (Hempel 1973), between the surface and a maximum depth of 50 m, or to within 5 m of the bottom in shallower waters. An STD sensor from Sea-Bird Electronic Inc. is mounted on the tow cable, close to the net openings, to measure water temperatures. The temperature values are used to calculate the incubation time or age of the mackerel eggs. Once a tow is completed, the nets are hauled out of the water, hung up on deck, and rinsed with salt water. The plankton samples are preserved in a dilute (4-5 %) solution of buffered formaldehyde (Hunter 1985).

Plankton samples analysis

In the laboratory, the settled volume of plankton (in ml) is measured and then split into subsamples using Van Guelpen's beaker method (Van Guelpen *et al.* 1982). The total number of subsamples to be sorted is based on a minimum number of mackerel eggs to be extracted (100). The plankton are identified according to specific criteria taken

d'ouvrages spécialisés. Les critères utilisés pour identifier les oeufs de maquereau et décrire leur stade de développement sont présentés dans Girard (2000).

from specialised publications. The criteria used to identify the mackerel eggs and determine their stage of development are presented in Girard (2000).

Traitement des données

Data analysis

Les volumes sédimentés (ml) de plancton et d'eau filtrés (m^3) ont été décrits en termes de moyennes et de variances selon l'année et la date médiane de chaque trajet. Le rapport entre ces volumes, qui exprime une densité, a aussi été calculé pour chacune des stations échantillonnées. Les moyennes annuelles de ce rapport représentent l'indice d'abondance générale proposé dans la présente étude.

The settled volumes of plankton (ml) and the volumes of water filtered (m^3) were described in terms of means and variances according to the year and the median date of each pass. The ratio between these volumes, which represents a density, has also been calculated for each of the stations sampled. The annual means of this ratio represent the general abundance index proposed in the present study.

Les densités moyennes de plancton ont aussi été calculées à l'aide du krigeage. La construction des variogrammes, la détection d'anisométrie et la production des cartes de krigeage ont été réalisées à l'aide du logiciel GS$^+$ (Robertson 1998), et le calcul de la variance et des intervalles de confiance par le logiciel EVA II (Petitgas et Lafont 1997). Une correction a été apportée aux variogrammes construits sans la présence de valeurs extrêmes. Ces dernières ont cependant été réintroduites lors du calcul des moyennes et des variances. À titre indicatif, les polygones utilisés pour délimiter le contour des cartes de krigeage sont présentés à l'Annexe 1A et les lieux géographiques qui y sont associés, à l'Annexe 1B.

The mean plankton densities were also calculated by kriging. GS$^+$ software (Robertson 1998) was used to generate variograms, detect anisotropy, and produce kriging maps. Variances and confidence intervals were calculated using EVA II software (Petitgas and Lafont 1997). Corrections were made to the variograms generated with outlying values excluded. These values were reintroduced, however, in the calculation of the means and the variances. For information purposes, the polygons used to define the contours of the kriging maps are shown in Appendix 1A, and the associated geographic locations are shown in Appendix 1B.

Les moyennes de krigeage ont aussi été comparées par année et par date médiane. De plus, ces moyennes ont été examinées en fonction des températures de l'eau de la portion des 30-100 m de la **C**ouche **I**ntermédiaire **F**roide (**CIF**) pour l'ensemble du golfe du Saint-Laurent (D. Gilbert, Institut Maurice-Lamontagne, comm. pers.).

The kriging means were also compared by year and median date. Also, these means were examined as a function of the water temperatures in the 30-100 m portion of the **C**old **I**ntermediate **L**ayer (**CIL**) for the entire Gulf of St. Lawrence (D. Gilbert, Maurice Lamontagne Institute, pers. comm.).

RÉSULTATS

Le relevé le plus hâtif à avoir été réalisé est celui de 1982, avec comme date de départ le 7 juin (Tableau 1). C'est aussi le seul relevé à avoir eu un temps d'arrêt de plusieurs jours entre les deux trajets. Pour les autres relevés, les dates de départ ont varié entre le 13 et le 21 juin. Un seul trajet a été effectué en 1983, 1991 et 1999, et aucun relevé n'a été réalisé en 1995 et 1997. Le temps requis pour compléter l'échantillonnage des stations a été d'une durée moyenne de 9 jours pour le premier trajet, et de 8 jours pour le second. Au cours des dernières années, l'utilisation de nouveaux navires plus performants a permis de couvrir plus rapidement la grille des stations.

Les dates médianes des trajets ont graduellement diminué entre 1983 et 1994 car les relevés, à cette époque, ont été réalisés de plus en plus tôt (Tableau 1, Figure 2). Le relevé de 1996 a débuté avec quelques jours de retard par rapport à l'horaire prévu en raison d'un changement de navire de dernière minute. En 1999 et 2000, le même navire a été utilisé pour répondre à d'autres objectifs scientifiques qui se sont rajoutés à ceux reliés à l'évaluation de l'abondance du maquereau.

Contrairement aux volumes d'eau filtrés, les volumes sédimentés de plancton ont peu varié au cours des années (Figure 3A) ou selon la période pendant laquelle les relevés ont été réalisés (Figure 3B). Les volumes sédimentés les plus élevés ont été obtenus en 1988 avec une valeur moyenne de 422.75 ml pour le premier trajet et de 476.12 ml pour le second (Tableau 2). Pour les autres trajets, ils ont varié entre 98.06 ml et 278.99 ml. Les densités moyennes de plancton ont varié entre 0.346 $ml \cdot m^{-3}$ et 1.189 $ml \cdot m^{-3}$ (Tableau 2). Les valeurs les plus élevées ont été calculées lors du deuxième trajet de

RESULTS

The earliest that the mackerel abundance survey has ever been conducted was in 1982, when the departure date was June 7 (Table 1). This was also the only survey when there was a break in time of several days between the two passes. In the other years of the survey, the departure date ranged from June 13 to June 21. Only one pass was conducted in 1983, 1991, and 1999, and no survey was realised at all in 1995 or 1997. The mean time required to sample the stations was 9 days for the first pass and 8 days for the second pass. In recent years, the use of new, higher-performance vessels has enabled the survey itinerary to be covered more rapidly.

The median dates of the passes decreased gradually from 1983 to 1994, because the surveys at that time were conducted earlier and earlier (Table 1, Figure 2). The 1996 survey began a few days later than scheduled because of a last-minute change in research vessel. In 1999 and 2000, the same vessel was also used for scientific purposes other than the mackerel abundance assessment.

Unlike the filtered water volumes, the settled plankton volumes show little variation according to year (Figure 3A) or to the time of year when the surveys were conducted (Figure 3B). The highest settled volumes were obtained in 1988, with a mean value of 422.75 ml for the first pass and 476.12 ml for the second pass (Table 2). For the other passes, they ranged from 98.06 ml to 278.99 ml. The mean plankton densities ranged from 0.346 $ml \cdot m^{-3}$ to 1.189 $ml \cdot m^{-3}$ (Table 2). The highest values were calculated for the second pass in 1982, both passes in 1988, the 1999 survey (in which

1982, des deux trajets de 1988, du relevé de 1999 (un seul trajet), et des deux trajets de 2000 (Figure 4A). Les densités moyennes de plancton présentent une tendance nette à la baisse au cours des années 1990. Cependant, aucun patron particulier n'est observé lorsqu'elles sont comparées selon la date médiane de chaque trajet (Figure 4B). De plus, ces densités peuvent varier grandement pour une même date.

only one pass was made), and both passes from the 2000 survey (Figure 4A). The mean plankton densities have shown a definite downward trend over the 1990s. However, no particular pattern emerges when these densities are compared according to the median date of each pass (Figure 4B). Also, these densities for the same date may vary greatly.

Aucune anisométrie n'a été observée, et la plupart des variogrammes (Figure 5) ont été réalisés à l'aide d'un modèle sphérique, sauf pour le premier trajet de 1984, les deux trajets de 1990, le premier trajet de 1993 et le second trajet de 1998 pour lesquels le modèle exponentiel a été appliqué (Tableau 3). Aucun variogramme n'a pu être construit avec les densités de plancton calculées pour le second trajet de 1985, de même que pour le second trajet des relevés de 1987 et 1993 où moins de stations ont été échantillonnées en raison des mauvaises conditions de température et/ou du temps alloué pour réaliser ces relevés. La construction des variogrammes a nécessité le rejet, lors du premier trajet, de trois valeurs extrêmes en 1986, d'une autre valeur en 1989 et de trois autres en 2000.

No anisotropy was observed, and most of the variograms (Figure 5) were prepared using a spherical model, except for the first pass in 1984, the two passes in 1990, the first pass in 1993, and the second pass in 1998, for which the exponential model was applied (Table 3). No variogram could be constructed with the plankton densities calculated from the second pass in the 1985, 1987, and 1993 surveys, when fewer stations were sampled, because of poor temperature conditions and/or the amount of time allocated for these surveys. To generate the variograms, outliers had to be discarded from the first pass in three of the surveys: three outliers in the 1986 survey, one in the 1989 survey, and three in the 2000 survey.

La distribution spatiale des densités krigées de plancton varie grandement d'un trajet à l'autre (Figure 6). Les densités les plus élevées peuvent se retrouver dans la région des Îles de la Madeleine, dans la baie des Chaleurs, sur la côte est du Nouveau-Brunswick et près de la côte ouest du Cap-Breton.

The spatial distribution of the kriged plankton densities varies greatly from one pass to another (Figure 6). The highest densities may be found in the Magdalen Islands, Chaleurs Bay, the east coast of New Brunswick, and near the west coast of Cape Breton.

Les moyennes de krigeage des densités de plancton ont varié entre 0.330 $ml \cdot m^{-3}$ et 1.205 $ml \cdot m^{-3}$ (Tableau 4). Ces valeurs regroupées par année (Figure 7A) ou par la date médiane de chaque trajet (Figure 7B)

The kriging means of the plankton densities ranged from 0.330 $ml \cdot m^{-3}$ to 1.205 $ml \cdot m^{-3}$ (Table 4). When grouped by year (Figure 7A) or by the median date of each pass (Figure 7B), these values differ very little

différent peu des densités mesurées à l'aide des moyennes arithmétiques simples. Cependant, les variances calculées par krigeage sont beaucoup moins élevées (Tableaux 2 et 4).

from the densities measured by simple arithmetic means. However, the variances calculated by kriging are much lower (Tables 2 and 4).

CONCLUSION

CONCLUSION

Les densités moyennes annuelles de plancton ont grandement varié au cours de la période couverte par les relevés. Les valeurs les plus élevées ont été observées lors du deuxième trajet de 1982 (le premier a été réalisé très tôt), et des relevés de 1988, 1999 et 2000. Les deux premiers relevés correspondent à des années où sont issues des classes d'âge très importantes (Grégoire *et al.* 2002a). De plus, jusqu'à maintenant, l'analyse des données de pêche associées à la classe d'âge de 1999 révèle que cette dernière serait même plus forte que celles de 1982 et 1988 (Grégoire *et al.* 2001, 2002a). Même s'il est trop tôt pour se prononcer sur la force réelle de la classe d'âge 2000, les données d'abondance de plancton présentées ici suggèrent que cette dernière de même que les fortes classes d'âge chez le maquereau pourraient apparaître à des moments où les densités de plancton dans le sud du golfe du Saint-Laurent sont élevées.

The mean annual plankton densities have varied greatly over the period covered by the surveys. The highest values were observed in the second pass of the 1982 survey (the first was conducted very early) and in the 1988, 1999 and 2000 surveys. The first two surveys were conducted in years that produced very large year-classes (Grégoire *et al.* 2002a). Also, the analyses performed to date on the fishery data for the 1999 year-class indicate that it appears to be even larger than those of 1982 and 1988 (Grégoire *et al.* 2001, 2002a). Though it is too early to judge the actual strength of the 2000 year-class, the plankton abundance data presented here suggest that this particular year-class as well as past abundant year-classes of mackerel may appear at times when the plankton densities in the southern Gulf of St. Lawrence are high.

Les densités moyennes de plancton ont graduellement diminué au cours des années 1990. C'est aussi lors de cette période que les relevés ont été réalisés de plus en plus tôt, ce qui pourrait avoir occasionné un déphasage entre ces derniers et les cycles de production du plancton. Les années 1990 ont aussi été caractérisées par un refroidissement des eaux de la **C**ouche **I**ntermédiaire **F**roide **(CIF)** (D. Gilbert, Institut Maurice-Lamontagne, comm. pers.). En fait, il existe une certaine similitude entre les températures moyennes annuelles de la portion des 30-100 m de la **CIF** et les

The mean plankton densities fell gradually during the 1990s. This was also the period when the surveys were conducted earlier and earlier, which may have put them out of phase with the plankton's production cycles. The 1990s were also characterized by a cooling of the waters of the **C**old **I**ntermediate **L**ayer **(CIL)** (D. Gilbert, Maurice Lamontagne Institute, pers. comm.). In fact, there is a certain resemblance between the mean annual temperatures in the 30-100 m portion of the **CIL** and the mean annual plankton densities (Figure 8). This cooling of the water may

densités annuelles moyennes de plancton (Figure 8). Ce refroidissement des températures pourrait avoir occasionné un retard dans les cycles de production de plancton ou des cycles de moindre intensité.

have delayed the plankton's production cycles or made them less intense.

La technique du krigeage d'indicatrice (Grégoire *et al.* 2002b) pourrait être appliquée dans le but de produire des cartes de distribution associées aux probabilités de retrouver des densités particulières de plancton. Les résultats obtenus pourraient même être utilisés en guise d'indice d'abondance.

The indicator kriging method (Grégoire *et al.* 2002b) could be applied to produce distribution maps for the probabilities of finding particular plankton densities. The results could even be used as an abundance index.

REMERCIEMENTS

De très sincères remerciements sont exprimés à l'égard de Denis Bernier et Bernard Morin pour la révision du document.

ACKNOWLEDGEMENTS

Very sincere thanks go to Denis Bernier and Bernard Morin for their reviews of this document.

RÉFÉRENCES / *REFERENCES*

Castonguay, M., Y. de Lafontaine, J. A. Runge. 1998. Annual and spatial variability in zooplankton biomass and species composition, and in eggs and larvae of mackerel and cod in the southern Gulf of St. Lawrence between 1982 and 1991. Can. Data Rep. Fish. Aquat. Sci. No. 1035.

De Mora, S. J., S. Demers, and M. Vernet (Eds.). 2000. The effects of UV radiation in the Marine environment. Cambridge University Press. New York, NY. 324 p.

Girard, L. 2000. Identification des oeufs de maquereau (*Scomber scombrus* L.) échantillonnés lors des relevés d'abondance effectués dans le sud du golfe du Saint-Laurent / *Identification of mackerel (Scomber scombrus L.) eggs sampled during abundance surveys in the southern Gulf of St. Lawrence. In*: F. Grégoire (Éditeur / *Editor*), Le maquereau bleu (*Scomber scombrus* L.) des sous-régions 2 à 6 de l'OPANO / *The Atlantic mackerel (Scomber scombrus* L.) *of NAFO Subareas 2 to 6*. Chapitre 4 / *Chapter 4*. Secrétariat canadien pour l'évaluation des stocks / *Canadian Stock Assessment Secretariat*. Document de recherche / *Research Document* 2000/021.

Grégoire, F. 2000 (ed.). The Atlantic mackerel (*Scomber scombrus* L.) of NAFO Subareas 2 to 6. CSAS Research Document. 2000/21. 452 p.

Grégoire, F., G. Morrier, C. Lévesque and J. Hudon. 2001. Status of the stock of Atlantic mackerel (*Scomber scombrus* L.) in NAFO Subareas 3 and 4 in 2000. CSAS Research Document. 2001/81. 129 p.

Grégoire, F., C. Lévesque, J. Guérin and J. Hudon. 2002a. Status of the stock of Atlantic mackerel (*Scomber scombrus* L.) in NAFO Subareas 3 and 4 in 2001. CSAS Research Document. 2002/63. 34 p.

Grégoire, F., H. Bourdages et / *and* J. Roy. 2002b. Production d'un indice de dispersion pour le capelan (*Mallotus villosus* L.) de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent par le krigeage d'indicatrice. Rapp. Tech. Can. Sci. Halieut. Aquat. 2418: vi + 21p.

Hempel, G. 1973. Fish egg and larval surveys. FAO Fisheries Technical Paper No. 122. 82 p.

Hunter, J. R. 1985. Preservation of Northern anchovy in formaldehyde solution. *In* : R. Lasker, An egg production method for estimating spawning biomass of pelagic fish: Application to the Northern anchovy, *Eugraulis mordax*. NOAA Technical Report NMFS 36. 99 p.

Petitgas, P., et / *and* T. Lafont. 1997. EVA II: **E**stimation **VA**riance. Version 2. A geostatistical software on Windows 95 for the precision of fish stock assessment surveys. ICES CM 1997/Y 22.

Posgay, J. A. et / *and* R. R. Marak. 1980. The MARMAP Bongo zooplankton samplers. J. Northwest Atl. Fish. Sci. 1: 91-99.

Ringuette, M., M. Castonguay, J. A. Runge and F. Grégoire. 2002. Atlantic mackerel (*Scomber scombrus* L.) recruitment fluctuations in relation to copepod production and juvenile growth. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 59: 646-656.

Robertson, G.P. 1998. GS$^+$: Geostatistics for the Environmental Sciences. Gamma Design Software, Plainwell, Michigan USA. 152 p.

Runge, J. A., M. Castonguay, Y. de Lafontaine, M. Ringuette, and J.-L. Beaulieu. 1999. Covariation in climate, zooplankton biomass and mackerel recruitment in the southern Gulf of St. Lawrence. Fish Oceanogr. 8: 139-149.

Van Guelpen, L., D. F. Markle and D. J. Duggan. 1982. An evaluation of accuracy, precision, and speed of several zooplankton subsampling techniques. J. Cons. Int. Explor. Mer. 40: 226-236.

Tableau 1. Dates des relevés d'évaluation de l'abondance du maquereau dans le sud du golfe du Saint-Laurent entre 1982 et 2000.

Table 1. Dates of the Atlantic mackerel abundance assessment surveys in the southern Gulf of St. Lawrence between 1982 and 2000.

ANNÉE / *YEAR*	RELEVÉ / *SURVEY*	PREMIER TPAJET / *FIRST PASS*			DEUXIÈME TRAJET* / *SECOND PASS**		
		Début / *Start* (jj-mm/*dd-mm*)	Fin / *End* (jj-mm/*dd-mm*)	Médiane** / *Median***	Début / *Start* (jj-mm/*dd-mm*)	Fin / *End* (jj-mm/*dd-mm*)	Médiane** / *Median***
1982	P-273	7-6	16-6	162.5	24-6	5-7	180.5
1983	P-292	21-6	2-7	177.5			
1984	N-030	19-6	29-6	176	29-6	4-7	183.5
1985	P-324	20-6	1-7	176.5	1-7	8-7	185.5
1986	P-337	16-6	27-6	172.5	30-6	8-7	185
1987	P-353	17-6	25-6	172	28-6	2-7	181
1988	P-369	17-6	24-6	172.5	27-6	4-7	182.5
1989	P-386	20-6	26-6	174	26-6	4-7	181
1990	P-400	16-6	22-6	170	22-6	28-6	176
1991	P-415	17-6	25-6	172			
1992	P-430	16-6	24-6	172	24-6	2-7	180
1993	P-445	15-6	23-6	170	25-6	29-6	178
1994	N-209	14-6	21-6	168.5	20-6	27-6	174.5
1996	GE-001	17-6	24-6	171.5	24-6	30-6	178
1998	N-223	13-6	19-6	167	19-6	23-6	172
1999	MB-1999	19-6	25-6	173			
2000	MB-2000	18-6	26-6	174	26-6	3-7	181.5

* Pas de deuxième trajet en 1983, 1991 et 1999 et aucun relevé en 1995 et 1997 / *No second pass in 1983, 1991, and 1999 and no survey in 1995 and 1997*

** En jour de l'année / *In Day of the Year*

Tableau 2. Moyennes et variances des volumes sédimentés de plancton (ml), d'eau filtrés (m^3) et de l'indice d'abondance du plancton (ml/m^3) pour chacun des trajets des relevés d'évaluation de l'abondance du maquereau réalisés entre 1982 et 2000.

Table 2. Averages and variances for the settled volume of plankton (ml), the filtered volume of water (m^3) and the plankton index of abundance (ml/m^3) for each pass of the Atlantic mackerel abundance assessment surveys realised between 1982 and 2000.

ANNÉE / *YEAR*	RELEVÉ / *SURVEY*	TRAJET / *PASS*	VOLUME SÉDIMENTÉ / *SETTLED VOLUME (ml)*		VOLUME FILTRÉ / *FILTERED VOLUME (m^3)*		INDICE D'ABONDANCE / *INDEX OF ABUNDANCE (ml/m^3)*	
			Moyenne / *Average*	Variance	Moyenne / *Average*	Variance	Moyenne / *Average*	Variance
1982	P273	1	183.59	14991	280.15	2229	0.653	0.189
		2	195.54	14828	227.76	4111	0.888	0.259
1983	P-292	1	152.88	10497	328.63	5592	0.483	0.088
1984	N-030	1	152.88	9272	305.64	1576	0.500	0.085
		2	176.06	6615	314.43	5588	0.585	0.079
1985	P-324	1	205.27	16348	313.08	10173	0.669	0.125
		2	205.64	12498	338.42	8249	0.621	0.091
1986	P-337	1	200.25	11368	347.69	16180	0.625	0.115
		2	258.49	17098	444.60	7290	0.585	0.072
1987	P-353	1	157.31	24430	457.46	6349	0.346	0.101
		2	278.99	26380	471.19	8163	0.594	0.110
1988	P-369	1	422.75	137903	411.40	22340	1.140	1.032
		2	476.12	126471	396.59	10899	1.189	0.767
1989	P-386	1	190.91	44808	256.46	13252	0.805	0.599
		2	145.75	5572	214.97	7800	0.713	0.115
1990	P-400	1	109.63	7433	163.47	4368	0.735	0.283
		2	98.06	5280	111.27	1575	0.819	0.246
1991	P-415	1	173.52	14739	278.24	5084	0.632	0.184
1992	P-430	1	203.08	19540	395.10	7869	0.527	0.128
		2	178.79	11593	413.93	10997	0.448	0.072
1993	P-445	1	170.73	11157	359.92	17533	0.524	0.122
		2	190.21	11470	437.15	8458	0.442	0.071
1994	N-209	1	195.88	62663	311.54	7019	0.604	0.293
		2	218.19	41422	380.68	17574	0.569	0.194
1996	GE-001	1	178.14	20953	358.18	4861	0.514	0.191
		2	189.27	21511	421.20	7025	0.444	0.093
1998	N-223	1	250.94	52403	555.47	32865	0.463	0.119
		2	252.58	40768	617.52	33007	0.405	0.098
1999	MB-1999	1	183.81	13850	219.98	9771	0.943	0.371
2000	MB-2000	1	252.97	54325	295.27	14744	0.995	0.864
		2	188.95	17300	271.17	12017	0.860	0.448

Tableau 3. Modèles et paramètres des variogrammes des densités de plancton (ml/m^3) mesurées lors des relevés d'évaluation de l'abondance du maquereau réalisés entre 1982 et 2000.

Table 3. Variogram models and parameters of the plankton densities (ml/m^3) calculated for the mackerel abundance assessment surveys realised between 1982 and 2000.

ANNÉE / *YEAR*	MISSION / *SURVEY*	TRAJET / *PASS*	MODÈLE / *MODEL*	PARAMÈTRES / *PARAMETERS*			VARIANCE *	R^2	SCR / *RSS***
				Pépite / *Nugget* (C_0)	Plateau / *Sill* ($C_0 + C$)	Portée / *Range* (A_0)			
1982	P-273	1	Sphérique / *Spherical*	0.0001	0.1952	66.6	0.1887	0.867	4.176E-03
		2	Sphérique / *Spherical*	0.0002	0.2494	63.9	0.2592	0.928	1.197E-03
1983	P-292	1	Sphérique / *Spherical*	0.0127	0.0780	153.6	0.0882	0.934	1.717E-04
1984	N-030	1	Exponentiel / *tial*	0.0317	0.0891	81.4	0.0846	0.977	4.127E-05
		2	Sphérique / *Spherical*	0.0207	0.0849	86.4	0.0792	0.997	4.420E-06
1985	P-324	1	Sphérique / *Spherical*	0.0001	0.1252	63	0.1251	0.916	6.615E-04
		2***							
1986	P-337	1	Sphérique / *Spherical*	0.0118	0.0891	111.7	0.0846	0.946	1.614E-04
		2	Sphérique / *Spherical*	0.0001	0.0764	97.8	0.072	0.942	1.790E-04
1987	P-353	1	Sphérique / *Spherical*	0.0414	0.1098	147	0.1007	0.984	6.193E-05
		2****							
1988	P-369	1	Sphérique / *Spherical*	0.0010	1.0310	65.5	1.0324	0.892	1.120E-01
		2	Sphérique / *Spherical*	0.0010	0.8830	123.6	0.7667	0.937	2.640E-02
1989	P-386	1	Sphérique / *Spherical*	0.0480	0.3900	120.3	0.3412	0.956	2.475E-03
		2	Sphérique / *Spherical*	0.0239	0.1198	106.7	0.1146	0.932	4.531E-04
1990	P-400	1	Exponentiel / *tial*	0.0757	0.3214	78.5	0.2830	0.933	2.357E-03
		2	Exponentiel / *tial*	0.0451	0.3442	24.3	0.2463	0.979	2.177E-04
1991	P-415	1	Sphérique / *Spherical*	0.0496	0.2132	105.4	0.1840	0.942	1.046E-03
1992	P-430	1	Sphérique / *Spherical*	0.0490	0.1460	118.9	0.1281	0.929	4.112E-04
		2	Sphérique / *Spherical*	0.0001	0.0736	80.4	0.0722	0.944	1.727E-04
1993	P-445	1	Exponentiel / *tial*	0.0248	0.1346	39.7	0.1218	0.935	3.144E-04
		2****							
1994	N-209	1	Sphérique / *Spherical*	0.0010	0.3550	78.1	0.2925	0.917	6.962E-03
		2	Sphérique / *Spherical*	0.0001	0.2142	71	0.1938	0.907	1.576E-03
1996	GE-001	1	Sphérique / *Spherical*	0.0279	0.2168	53.2	0.1909	0.973	1.461E-04
		2	Sphérique / *Spherical*	0.0097	0.0931	67.8	0.0926	0.992	1.640E-05
1999	MB-1999		Sphérique / *Spherical*	0.1150	0.4760	109.1	0.3700	0.979	1.113E-03
1998	N-223	1	Sphérique / *Spherical*	0.0007	0.1174	61.3	0.1193	0.939	1.569E-04
		2	Exponentiel / *tial*	0.0091	0.0982	32.0	0.0978	0.967	5.951E-05
1999	MB-1999	1							
2000	MB-2000	1	Sphérique / *Spherical*	0.0010	0.4010	76.1	0.3769	0.917	8.339E-03
		2	Sphérique / *Spherical*	0.0010	0.5020	100.0	0.4482	0.951	5.885E-03

* Calculée sans valeurs extrêmes / *Calculated without large at value* ; ** Somme des carrés réduits / *Reduced sum of squares*

*** Structure spatiale ne pouvant pas être définie par un variogramme / *Spatial structure can not be defined by a variogram*

**** Nombre insuffisant de stations pour calculer un variogramme / *Not* enough *stations to calculate a variogram*

Tableau 4. Moyennes, variances et intervalles de confiance des densités de plancton (ml/m^3) mesurées par krigeage pour les relevés d'évaluation de l'abondance du maquereau réalisés entre 1982 et 2000.

Table 4. Averages, variances and confidence intervals of the plankton densities (ml/m^3) calculated by kriging for the mackerel abundance assessment surveys realised between 1982 and 2000.

ANNÉE / *YEAR*	MISSION / *SURVEY*	TRAJET / *PASS*	KRIGEAGE / *KRIGING*		INTERVALLES CONFIANCE / *CONFIDENCE INTERVALS* 95%	
			Moyenne / *Average*	Variance	L. Inf. / *Lower L.*	L. Sup. / *Up. L.*
1982	P-273	1	0.660	0.0008	0.603	0.717
		2	0.889	0.0010	0.827	0.950
1983	P-292	1	0.475	0.0003	0.442	0.509
1984	N-030	1	0.501	0.0008	0.447	0.556
		2	0.598	0.0001	0.578	0.618
1985	P-324	1	0.662	0.0005	0.617	0.707
		2*				
1986	P-337	1	0.620	0.0008	0.565	0.675
		2	0.590	0.0002	0.564	0.616
1987	P-353	1	0.330	0.0008	0.275	0.384
		2**				
1988	P-369	1	1.172	0.0038	1.052	1.292
		2	1.205	0.0014	1.131	1.279
1989	P-386	1	0.796	0.0023	0.702	0.890
		2	0.727	0.0006	0.680	0.774
1990	P-400	1	0.740	0.0024	0.644	0.836
		2	0.822	0.0046	0.689	0.955
1991	P-415	1	0.630	0.0011	0.564	0.696
1992	P-430	1	0.512	0.0009	0.451	0.572
		2	0.446	0.0002	0.417	0.476
1993	P-445	1	0.520	0.0014	0.447	0.592
		2**				
1994	N-209	1	0.617	0.0011	0.553	0.682
		2	0.588	0.0008	0.532	0.644
1996	GE-001	1	0.518	0.0011	0.452	0.584
		2	0.443	0.0005	0.398	0.487
1998	N-223	1	0.468	0.0005	0.427	0.510
		2	0.410	0.0011	0.346	0.474
1999	MB-1999	1	0.925	0.0051	0.785	1.065
2000	MB-2000	1	1.045	0.0042	0.918	1.172
		2	0.897	0.0013	0.826	0.969

* Structure spatiale ne pouvant pas être définie par un variogramme / *Spatial structure can not be defined by a variogram*

** Nombre de stations insuffisant pour calculer un variogramme / *Not enough stations to calculate a variogram*

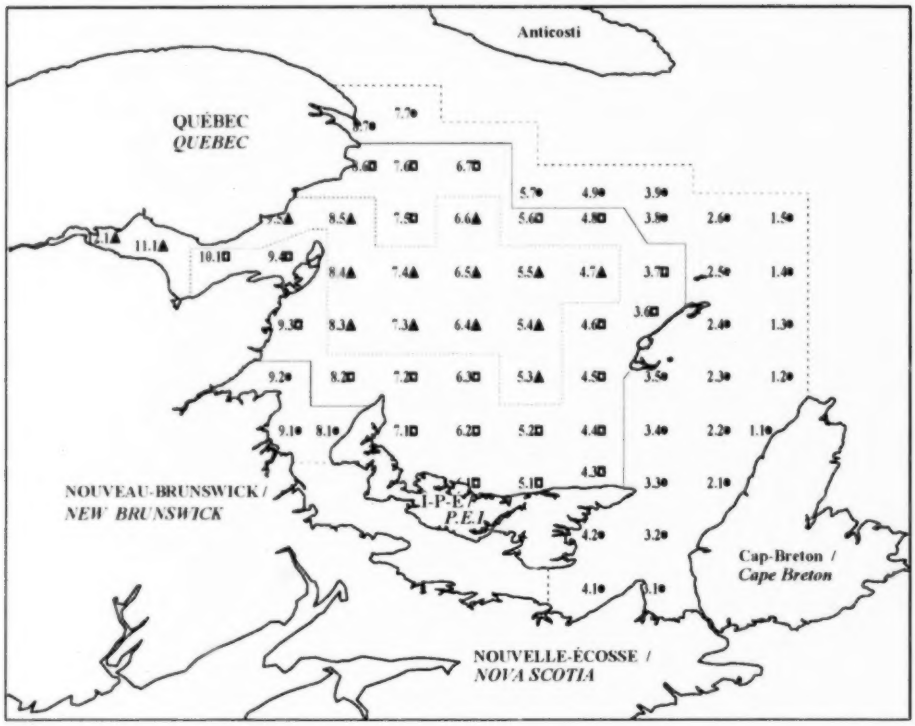


Figure 1. Carte des stations et des strates associées aux relevés d'évaluation de l'abondance du maquereau (la surface de chaque strate est indiquée; le premier chiffre d'une station représente le transect) réalisés entre 1982 et 2000 /
Map of the stations and strata associated to the mackerel abundance assessment surveys (the surface of each stratum is indicated; the first figure of a station number represents the transect) realised between 1982 and 2000.

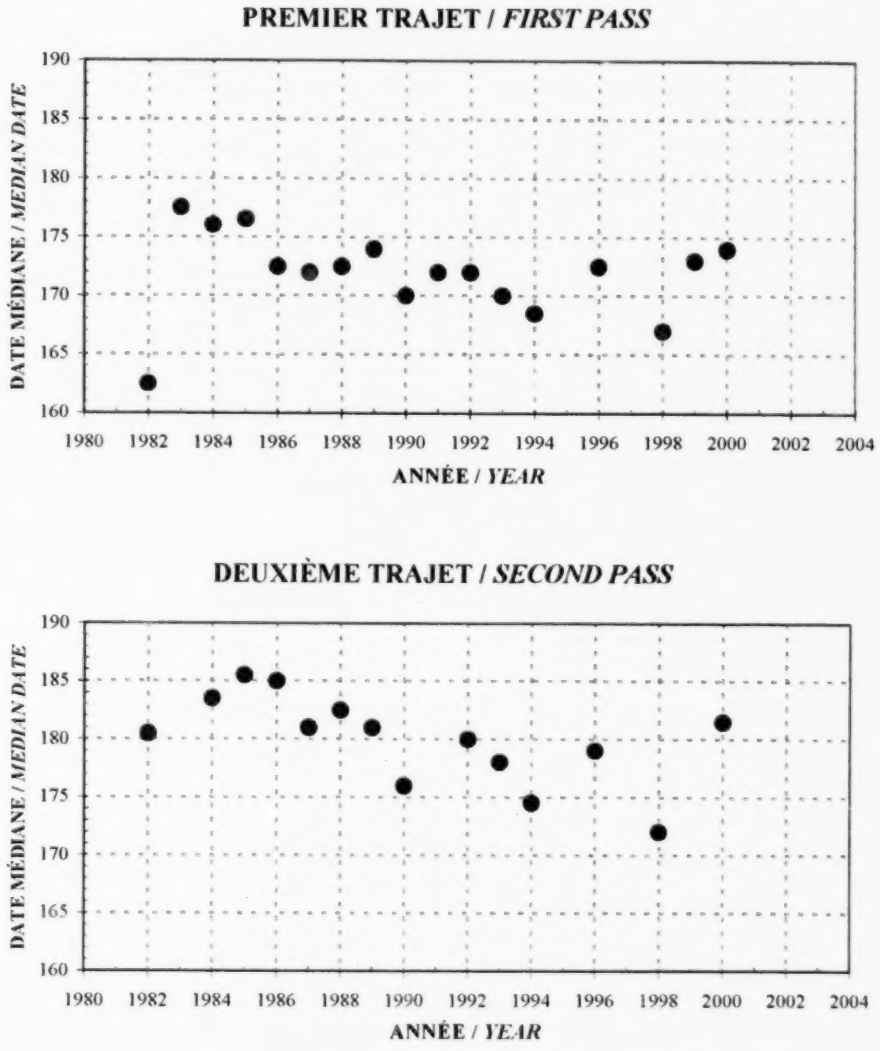


Figure 2. Dates médianes de chacun des trajets des relevés d'évaluation de l'abondance du maquereau réalisés entre 1982 et 2000 / *Median dates for each pass of the mackerel abundance assessment surveys realised between 1982 and 2000.*

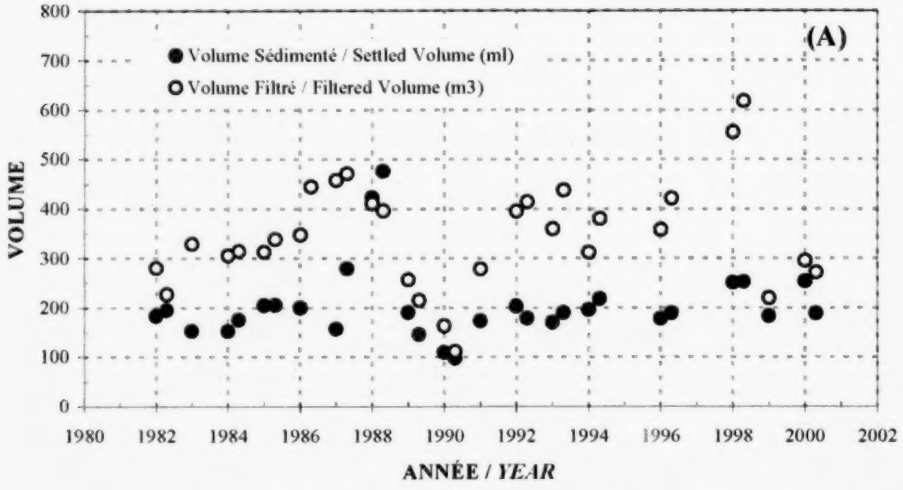


Figure 3. Volumes sédimentés (ml) de plancton et d'eau filtrés (m^3) moyens regroupés par année (A) et date médiane (B) des trajets des relevés réalisés entre 1982 et 2000 / *Mean settled volumes (ml) of plankton and filtered water (m^3) grouped by year (A) and median dates (B) for the surveys passes realised between 1982 and 2000.*

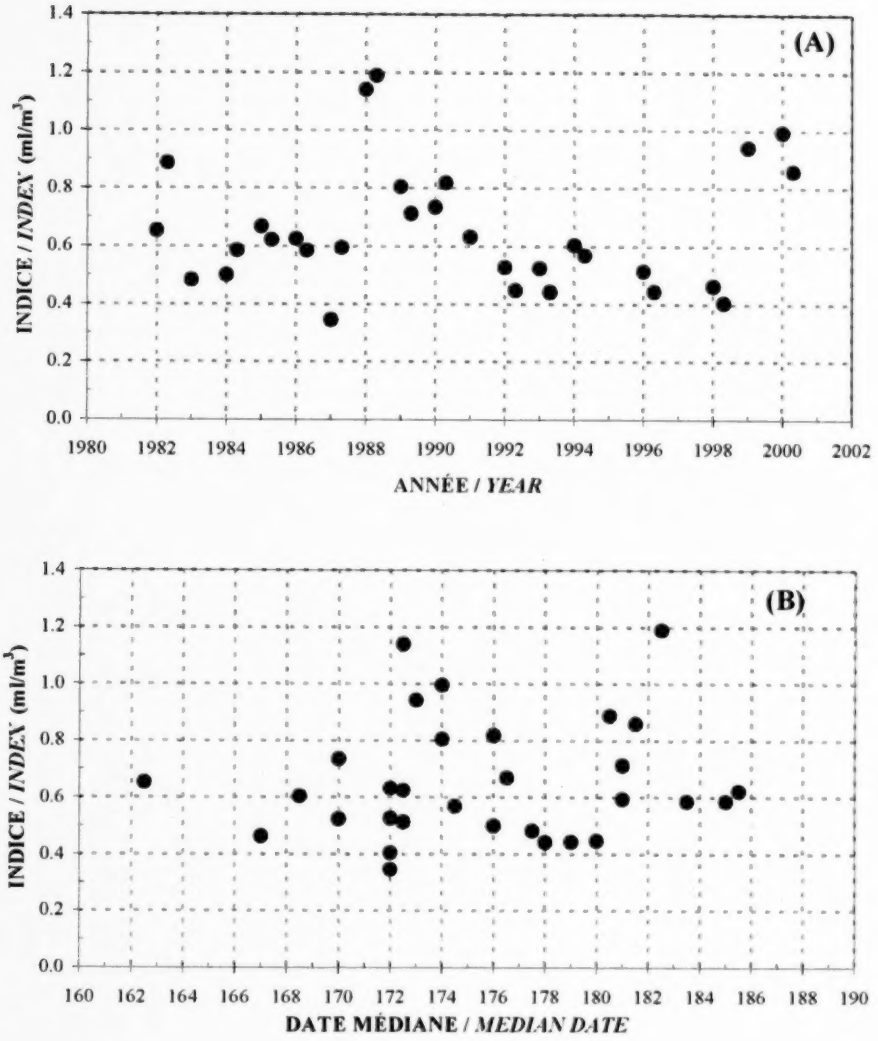


Figure 4. Indice d'abondance du plancton (ml/m^3) présenté par année (A) et par date médiane des trajets (B) des relevés réalisés entre 1982 et 2000 /
Mean abundance index of plankton (ml m^{-3}) presented by year (A) and median date (B) for the surveys passes realised between 1982 and 2000.

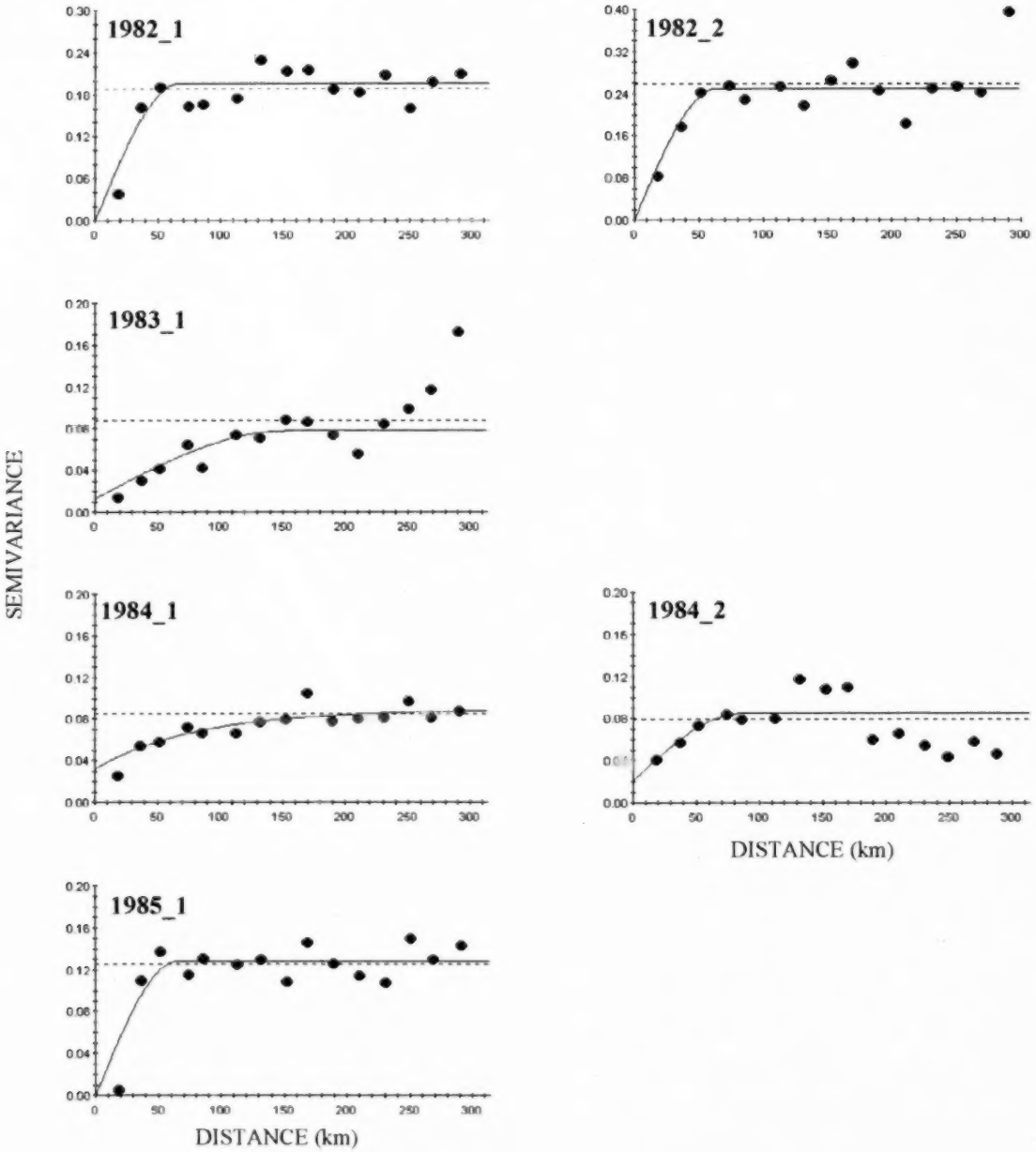


Figure 5. Variogrammes annuels de l'indice d'abondance du plancton (ml/m^3) pour les relevés réalisés dans le sud du golfe du Saint-Laurent entre 1982 et 2000 (la variance des données est représentée par la ligne horizontale pointillée) / *Annual variograms of the plankton index of abundance (ml/m^3) for the surveys realised in the southern Gulf of St. Lawrence between 1982 and 2000 (the variance of the data is showed by the horizontal dotted line).*

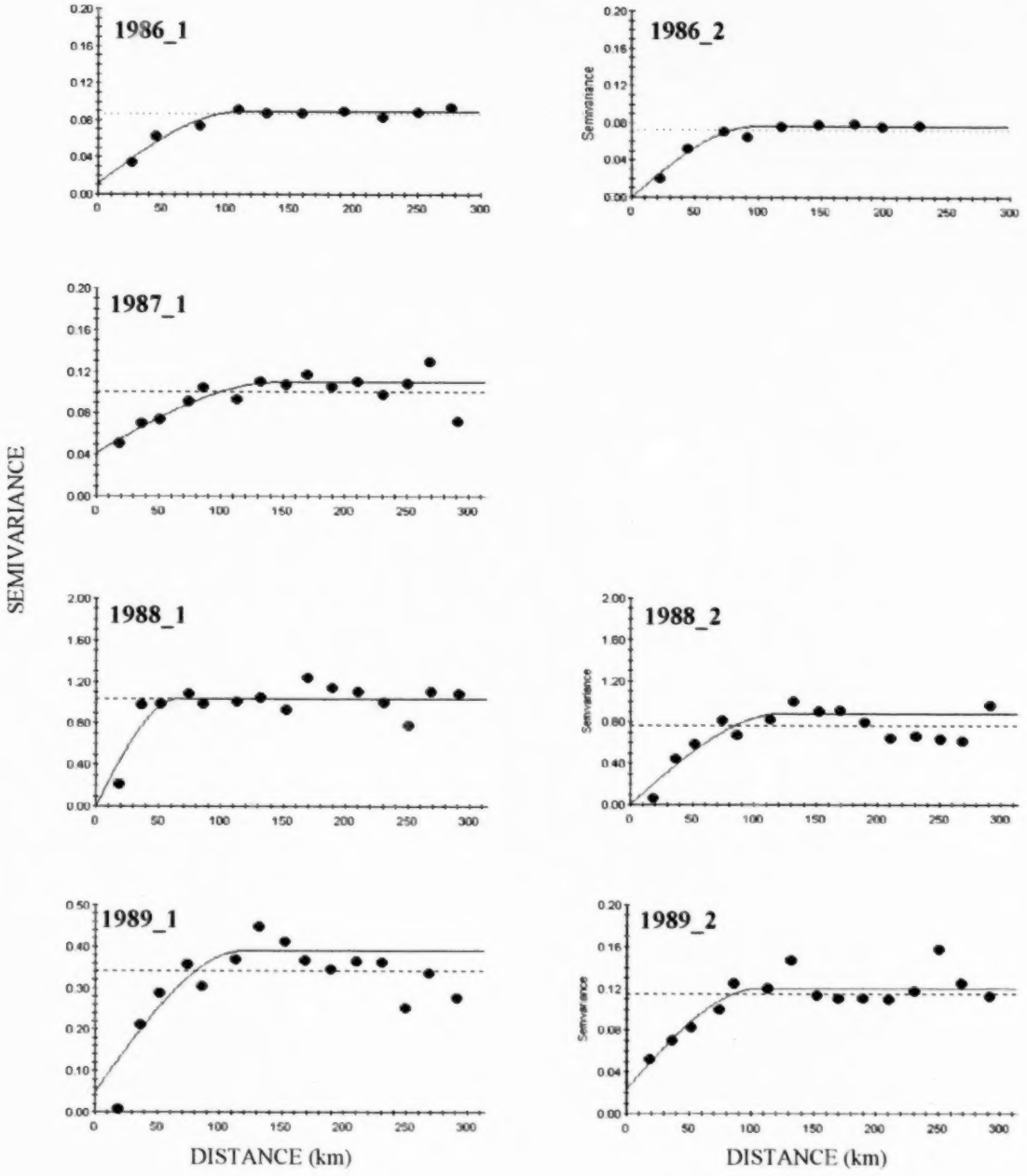


Figure 5. (Suite / *Continued*)

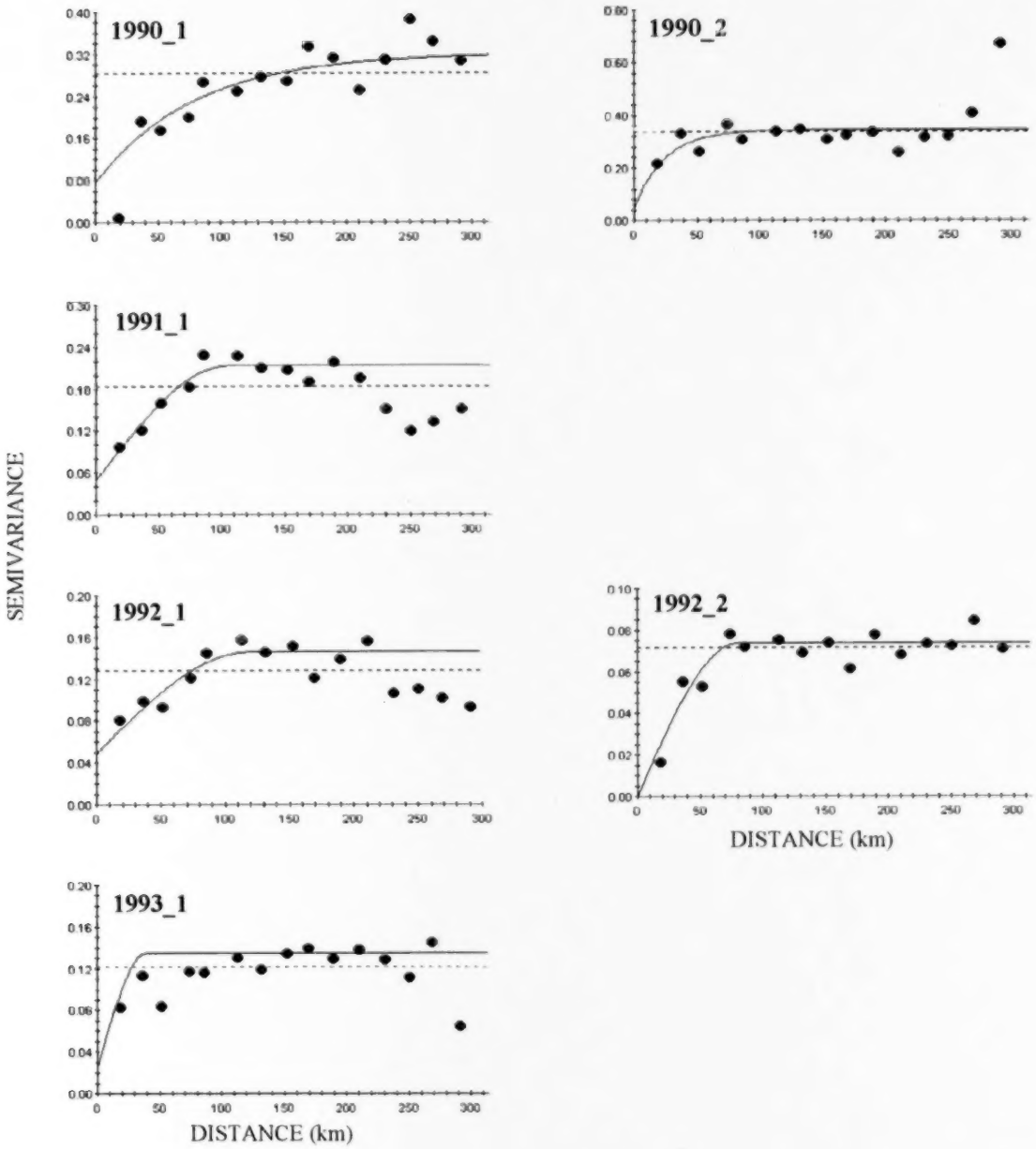


Figure 5. (Suite / *Continued*)

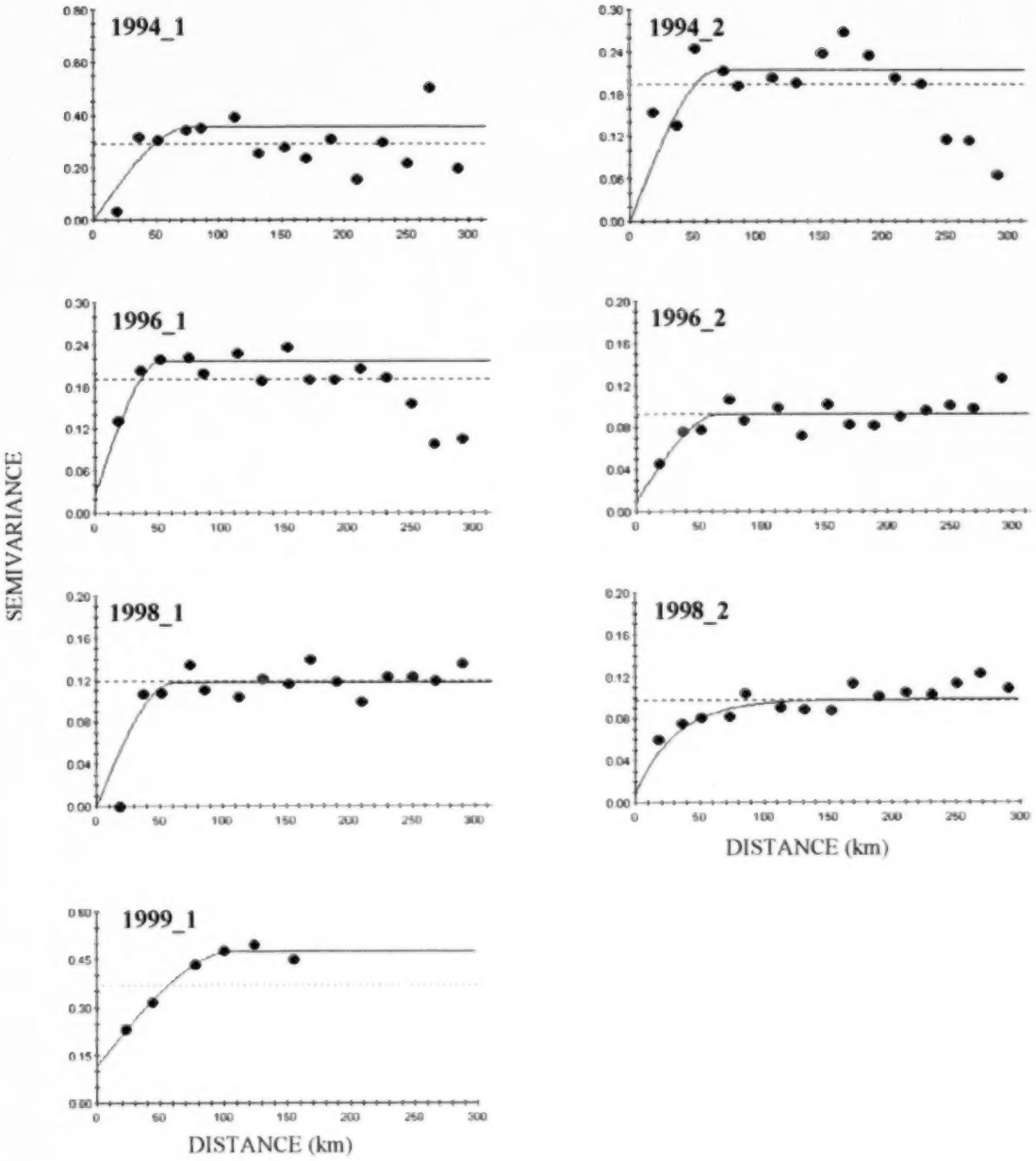


Figure 5. (Suite / *Continued*)

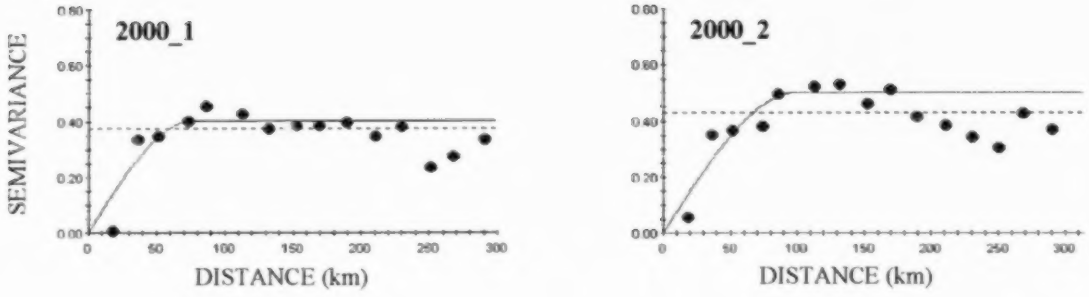


Figure 5. (Suite / *Continued*)

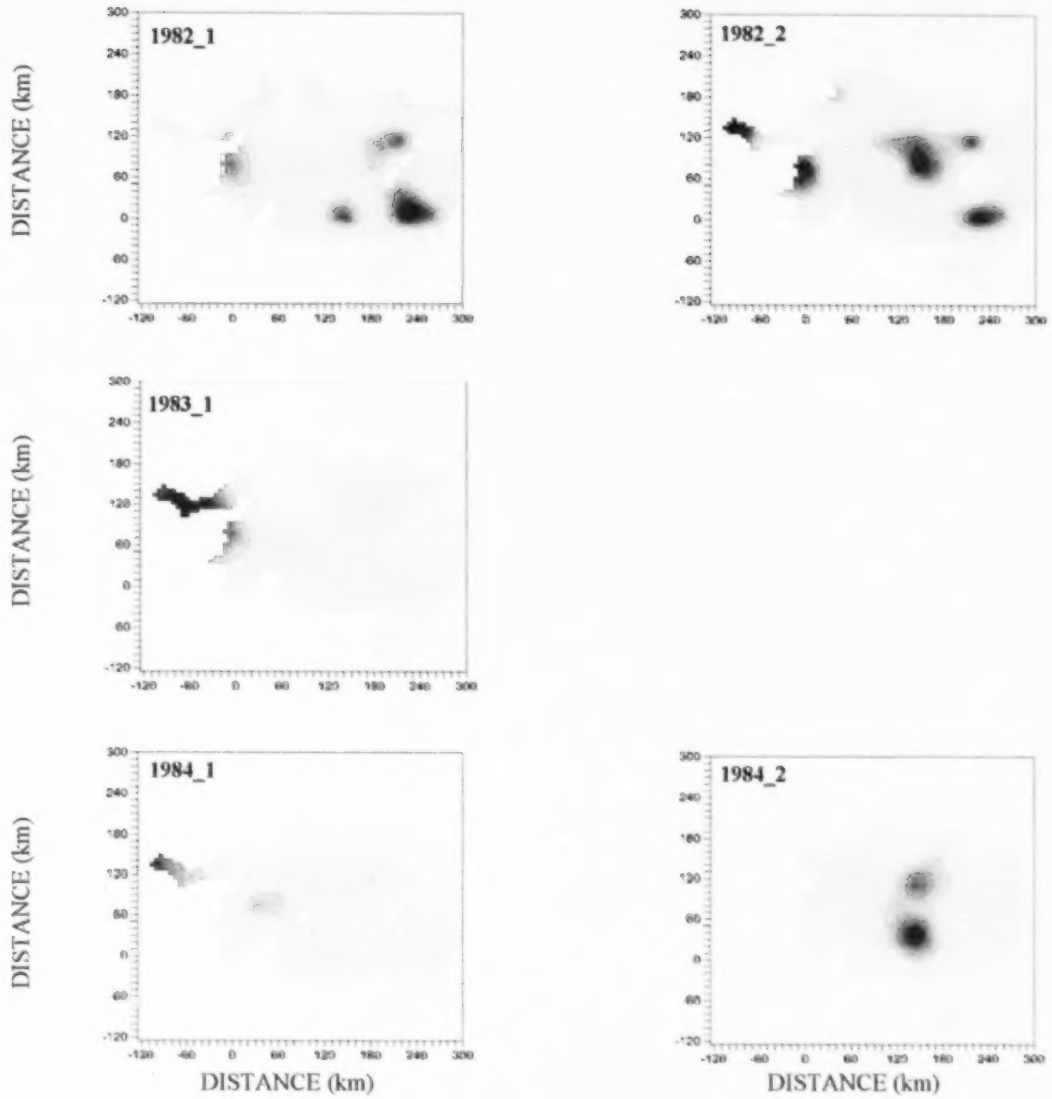


Figure 6. Distribution spatiale des densités de plancton (ml/m^3) mesurées pour chacun des trajets des relevés d'évaluation d'abondance du maquereau réalisés dans le sud du golfe du Saint-Laurent entre 1982 et 2000 / *Spatial distribution of the plankton densities (ml m^{-3}) measured for each pass of the mackerel assessment abundance surveys conducted in the southern Gulf of St. Lawrence between 1982 and 2000.*

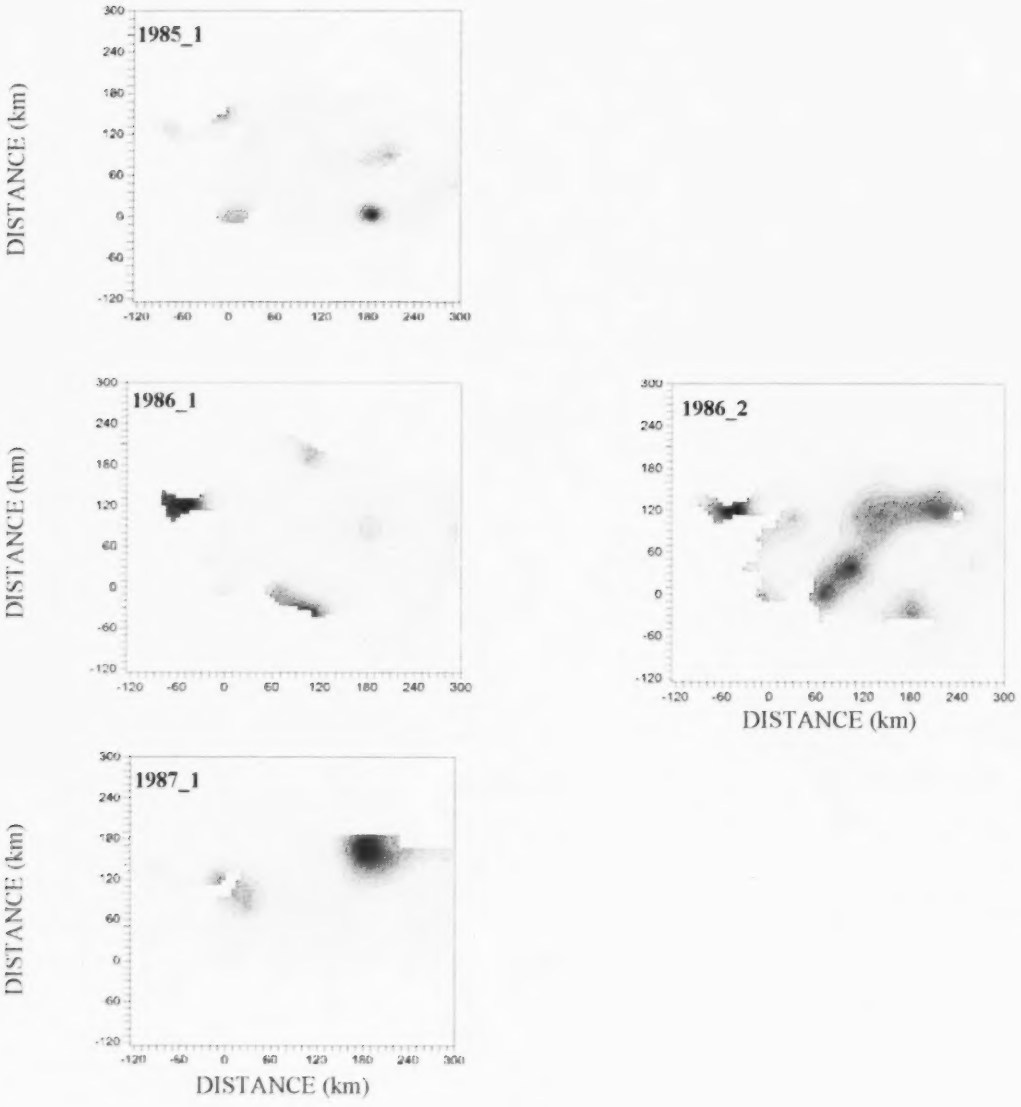


Figure 6. (Suite / *Continued*)

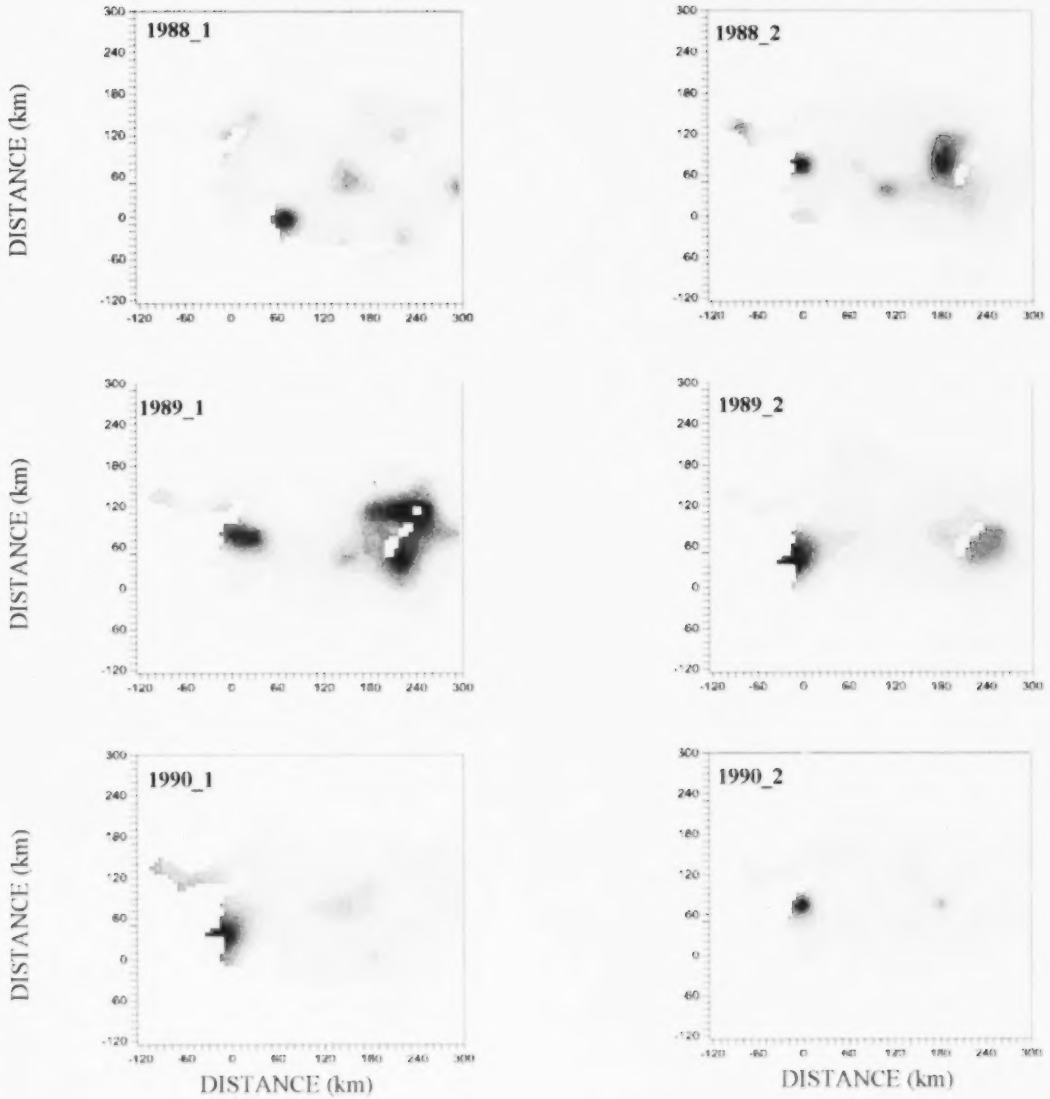


Figure 6. (Suite / *Continued*)

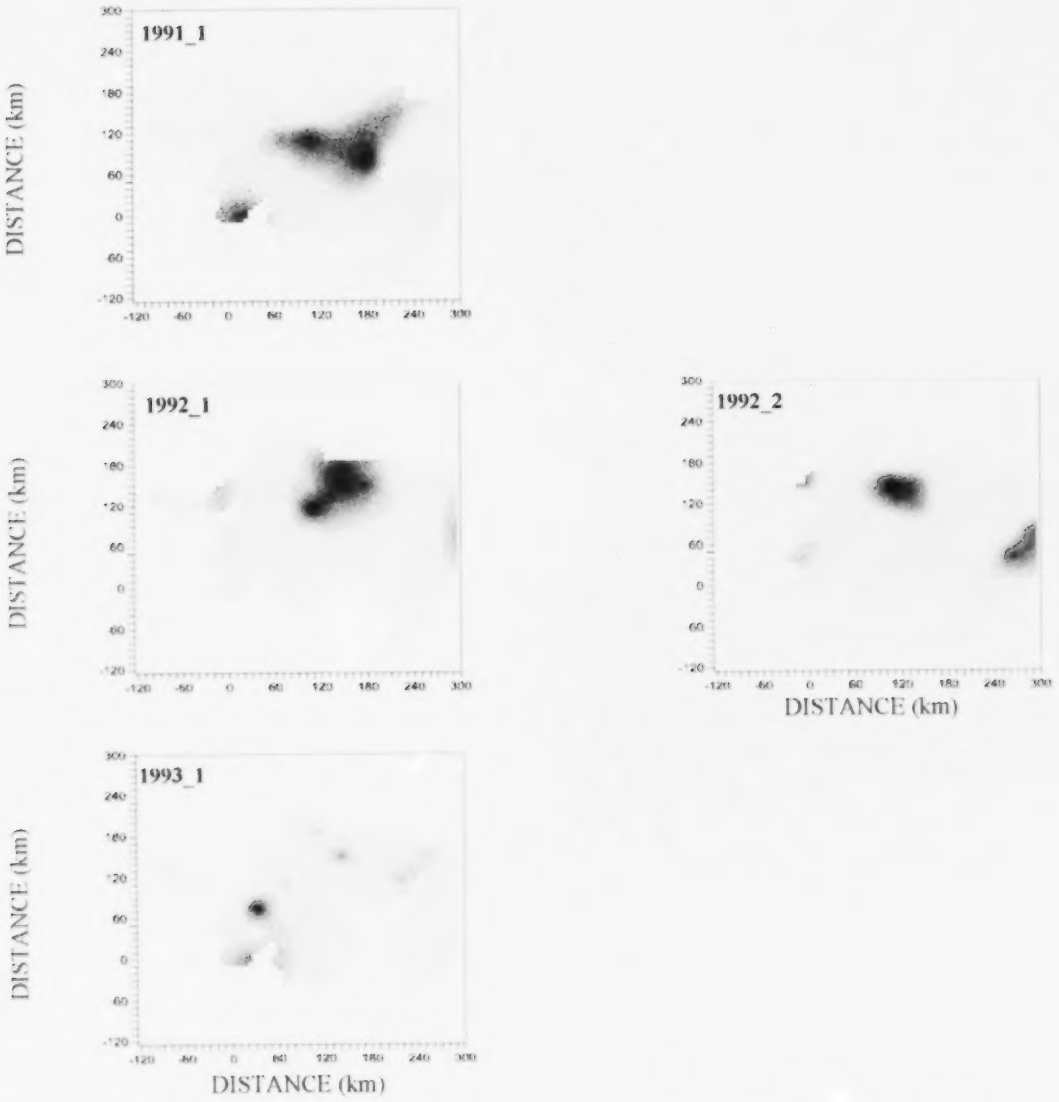


Figure 6. (Suite / *Continued*)

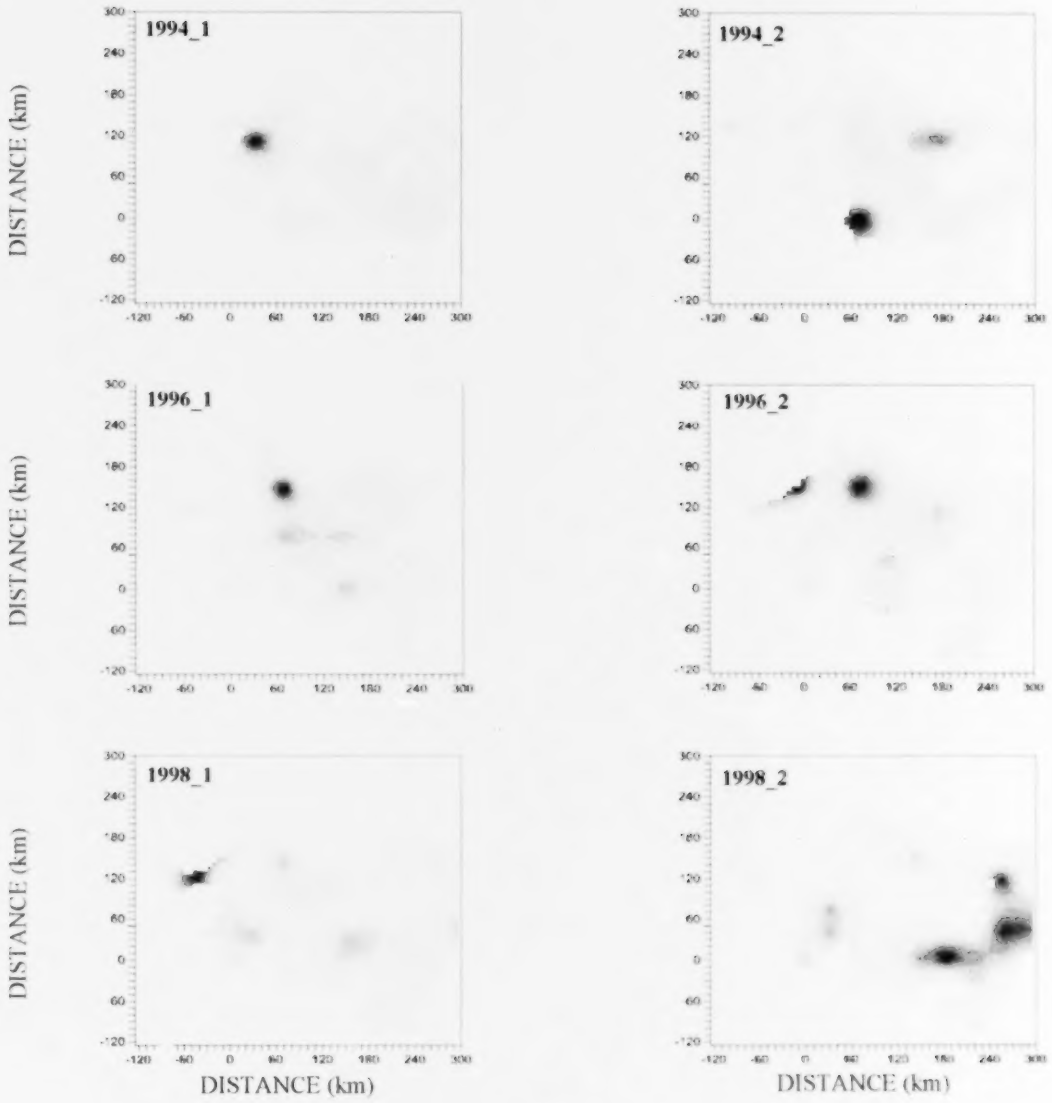


Figure 6. (Suite / *Continued*)

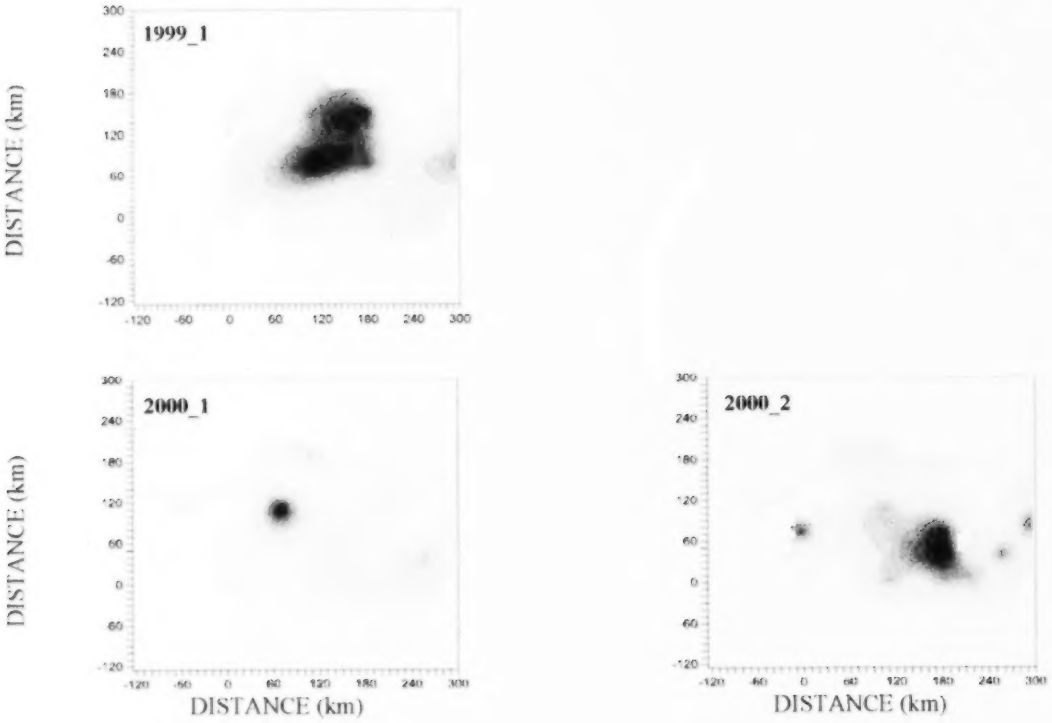


Figure 6. (Suite / *Continued*)

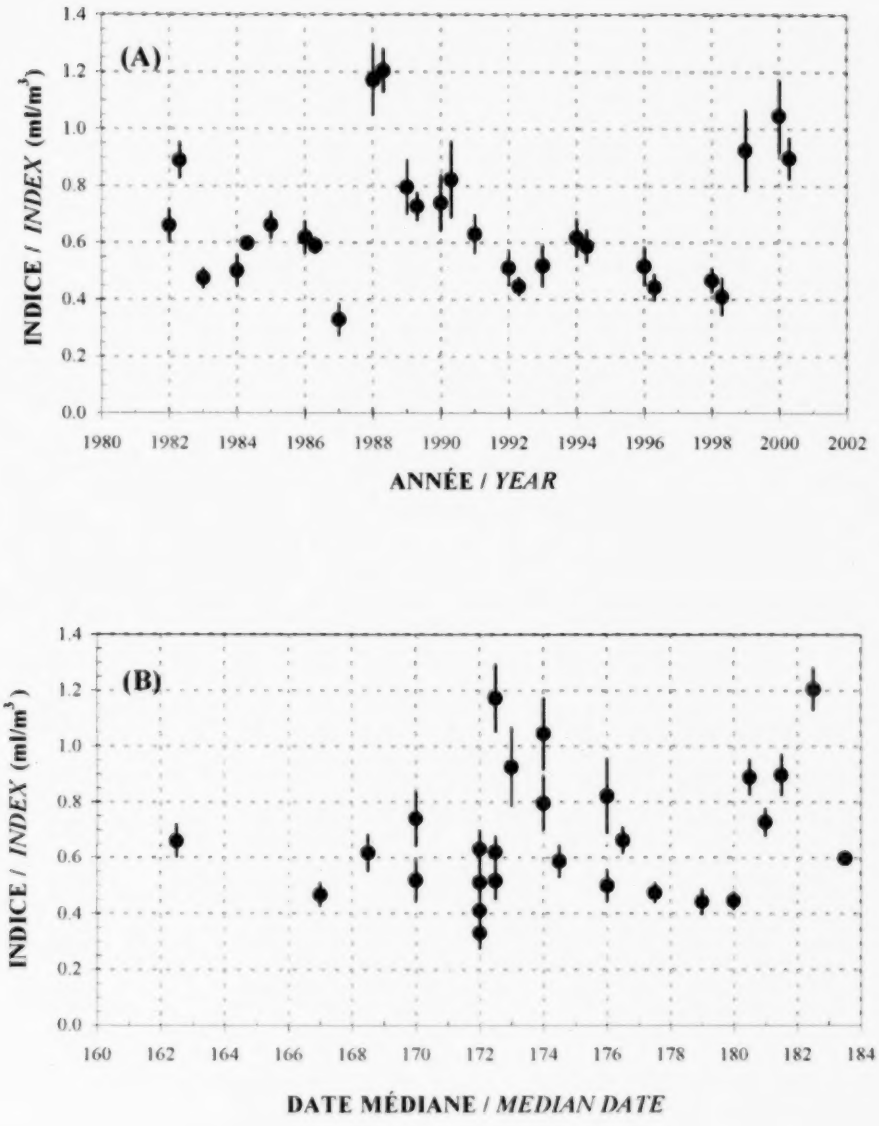


Figure 7. Indice d'abondance du plancton (ml/m^3) calculé par krigeage et présenté par année (A) et par date médiane des trajets (B) pour les relevés d'évaluation de l'abondance du maquereau réalisés entre 1982 et 2000 (les barres verticales représentent les intervalles de confiance) / *Plankton abundance index (ml m^{-3}) calculated by kriging and presented by year (A) and median date (B) for the mackerel assessment abundance surveys passes realised between 1982 and 2000 (vertical bars represent confidence intervals).*

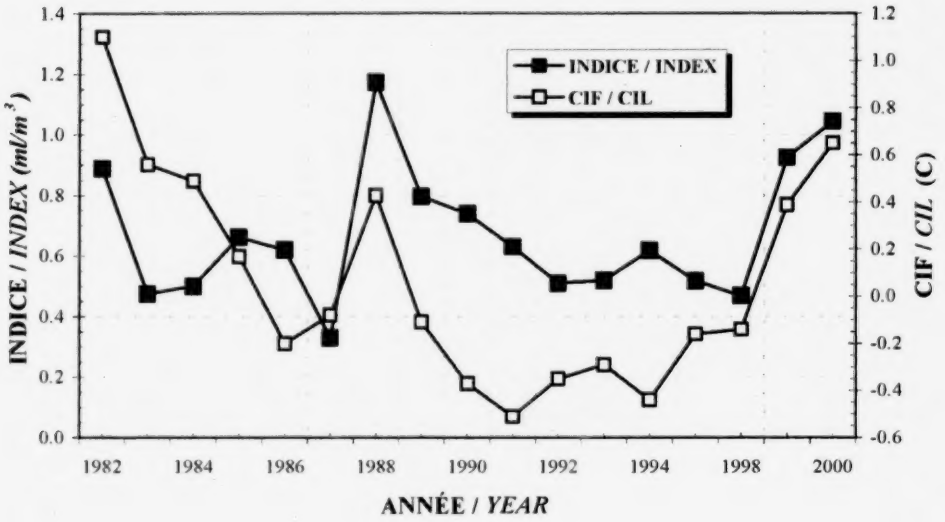
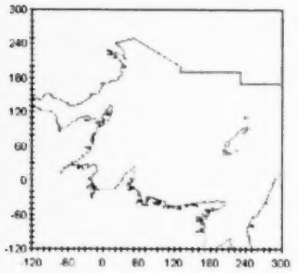


Figure 8. Indice d'abondance du plancton (■) et températures (°C) moyennes ( ) de la couche 30-100 m associées à la **CIF** (**C**ouche **I**ntermédiaire **F**roide) pour la période 1982-2000 (Denis Gilbert, Institut Maurice-Lamontagne, Mont-Joli, comm. pers.) / *Plankton abundance index (■) and mean temperatures (°C) ( ) of the 30-100 m layer associated with the* ***CIL*** *(**C**old **I**ntermediate **L**ayer) (Denis Gilbert, Maurice Lamontagne Institute, Mont-Joli, pers. comm.).*

Annexe 1. Polygones utilisés pour délimiter le contour de la zone d'échantillonnage pour les calculs de krigeage (A) et principaux lieux géographiques (B) qui y sont associés.

Appendix 1. Polygons used to define the contour of the sampling area (A) for the kriging calculations and the main associated geographic locations (B).



(A)

(B)